3.LED製程技術

- 金屬化製程
- 微影製程
- 化學氣相沉積製程
- 擴散製程
- 蝕刻製程
- 研磨製程
- 切割製程

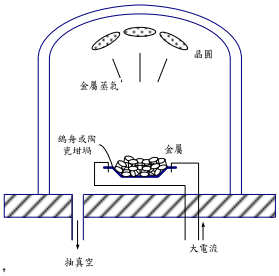
3.LED製程技術

1.金屬化製程

常見的金屬化製程技術有下列三種：

- **熱阻式蒸鍍技術**

此種金屬化技術通常只適用於較低溶點的金屬，如鋁(Al)，金(Au)，鎳(Ni)等。其系統圖示於第1圖。在製程期間，熱阻式蒸鍍系統被抽真空到約10^{-6} Torr的高真空下，然後將大電流流過盛加金屬之鎢舟或陶瓷坩堝，因其電阻很大，所以溫度會很高，連帶使得在鎢舟或陶瓷坩堝內的金屬被加熱而蒸發，因此可以使金屬蒸着在晶圓上。注意，鎳(Ni)很容易和鎢(W)形成共金(eutectic)，鋁(Al)在加熱鎔化之後很容易包覆鎢舟，這些都會影響鎢舟的使用率。



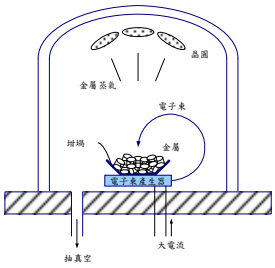
第1圖 熱阻式蒸鍍系統。

3.LED製程技術

1.金屬化製程

- **電子槍蒸鍍技術**

此種金屬化技術係目前發光二極體製程當中最普遍被採用的蒸鍍技術。其系統圖示於第2圖。在製程期間，電子槍蒸鍍系統被抽真空到約10^{-6} Torr的高真空下，然後將電子束加速、引導去撞擊坩堝內的金屬，在坩堝內的金屬因電子束的撞擊被加熱而蒸發，因此可以使金屬蒸着在晶圓上。



第2圖 電子槍蒸鍍系統。

3.LED製程技術

1.金屬化製程

- **電漿濺鍍技術**

電漿製程已被廣泛應用在半導體製程當中，例如：電漿輔助式化學氣相沉積法(plasma enhanced chemical vapor deposition, PECVD)，感應耦合電漿式反應離子蝕刻法(inductively coupled plasma - reactive ion etching, ICP-RIE)，及物理氣相沉積法。前兩項會在後面介紹，而本節將介紹應用電漿製程之物理氣相沉積法，此種方法稱為電漿濺鍍技術。

3.LED製程技術

(a) 電漿原理

電漿一詞起源於希臘文plasma(意思是：成形的東西)，1928年Langmuir研究真空放電時，將所產生的電離氣體稱為plasma。此種電離氣體與一般氣體性質不同，有人將之比喻為「物質的第四種狀態」。古代希臘哲學家恩培多克勒主張「四元說」，認為形成世界的四個基本要素是地、水、空氣、火。地是固體，水是液體，空氣是氣體，而目前知道高溫的火炎也是呈電漿狀態。據報導指出宇宙間物質有99.9%是處在這種狀態。與最初三個狀態相比，電漿的發現要慢了很多，那是因為地球是顆冷卻的行星，物質是以高密度的結合狀態存在，必須給予很大能量，才能產生電漿狀態。但是，我們還是要給電漿下一個廣義的定義：具有等量正電荷和負電荷之離化氣體稱為電漿。**電漿係由中性原子或分子，正電荷(離子)和負電荷(電子)所構成。**

在電漿中，電子濃度會約等於離子濃度，即。電子濃度和總濃度的比率定義為離化率R_I：

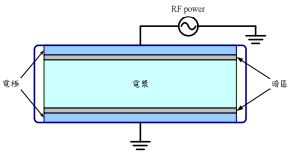
$$R_I = n_e / (n_e + n_{neu}) \quad (1)$$

其中，n_{neu}為中性濃度。離化率主要由電子能量決定，但是也跟氣體種類有關，因為不同的氣體需要不同的離化能量。

3.LED製程技術

(b) 電漿的產生

如第3圖所示，在兩相對應的金屬電極板上施加高壓電場，若二電極板之間的氣體分子濃度再在某一特定區間，則電極板表面因離子轟擊而產生的二次電子。由於在二電極板施加電場之下，氣體中存在極微量的游離電子獲足夠能量，促使了氣體分子及原子產生解離、離子化、激發等反應。經解離後所產生電子，被電場加速並引發出其它的離子化過程，此時氣體解離又產生更多的離子與電子，如此一連串效應造成在低壓氣體中產生大量的電漿。



第3圖 電容耦合式電漿源系統。

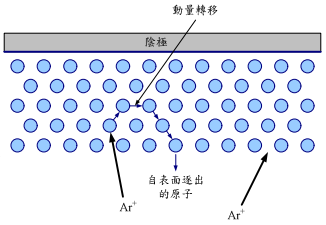
3.LED製程技術

最常用於濺射的惰性氣體是氬氣(Ar)，隨著轟擊粒子的入射角度變的越來越偏，濺射產出可增長2~3倍，直到轟擊粒子入射角度太高而轉化的動量太少，此後濺射所產生將漸少。通常在濺射表面有氧化或氮化物表層，這些化合物的化學鍵結能強於所需組成之材料，在這層沒被移走之前，初始濺射是有一段時間會產生很慢的。此外，若活性氣體存在，它會在靶面材料表面形成化合物，進而地附著於靶材表面，使濺射產出很低。當真空壓力降低時，會降低離子化碰撞並使電流降低；若真空壓力提高時，會提高濺鍍原子與氣體的碰撞機率造成濺射原子散射。

3.LED製程技術

(C)濺鍍過程

第4圖為濺鍍過程的示意圖。當電場應用在兩個電極之間時，自由電子會因獲得能量而被加速，高能量的電子和惰性氣體相互碰撞產生能量轉移效果，並讓惰性氣體分子，如氬氣，離子化，氣體離子最後經外加電場作用撞擊固體靶材，然後經動量轉移而將靶材表面的原子逐出，被逐出的原子謂稱為濺射原子，此現象就是濺擊。濺射原子進入電漿中，然後利用擴散方式，最後傳遞到基材表面上進行薄膜沈積。此種利用電漿的離子轟擊以動量轉移原理，將所需沈積材料濺擊出並擴散到基板沈積的過程，稱為濺鍍。



第4圖 濺鍍過程的示意圖。

3.LED製程技術

2.微影製程

微影製程(photolithography)係利用光罩photomask)上的幾何圖案，將圖案轉移在感光材料(一般稱為光阻)上的一種製程，例如，這些圖案可能是歐姆接觸電極、焊接墊、或發光區。本節將分兩個部分討論：曝光系統和製程步驟。

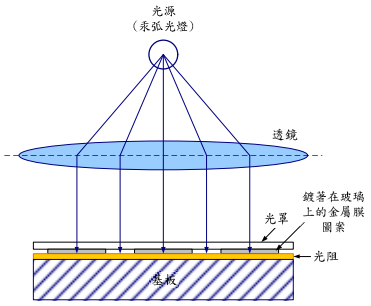
❖ **曝光系統**

(a)投影曝光法

如第5圖所示，將塗佈有光阻的基板載入系統中，並使其與光罩緊密接觸，然後使紫外光從光罩背面照射光阻一段預定的時間，使被紫外光照射到的光阻化學鍵斷裂(正光阻)或鍊結(負光阻)。於是，在經過顯影之後，就可以將光罩上的圖案複製在光阻上。

此種方法的主要缺點為：晶片上的塵粒會對光罩造成損傷，而優點則是解析度較高。

3.LED製程技術



第5圖 投影式曝光系統。

3.LED製程技術

(b)光罩

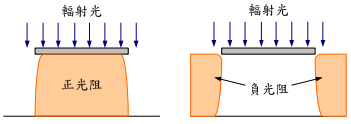
在微影製程中，通常使用光罩定義薄膜的圖案。其製作方式如下：

- ❑ 在玻璃(或石英)上依序沉積一層鉻(chromiun)和電子光阻；
- ❑ 利用電子束在整個表面上製作期望的圖案；
- ❑ 利用製作圖案的電子光阻當作遮罩，使用鉻蝕刻液去除不要的鉻膜；
- ❑ 去除電子光阻，於是形成具有期望圖案之微影製程用光罩。

3.LED製程技術

(c)光阻

光阻係一種輻射光敏化合物，依其對輻射光的反應，可以分為兩種：正光阻和負光阻。當輻射光照射正光阻時，曝光區域之光阻的化學鍵結被打斷，使得曝光區域之光阻很容易被溶解並去除，於是最後所遺留之圖案和光罩相同。另一方面，當輻射光照射負光阻時，曝光區域之光阻的化學鍵結鍊結，使得曝光區域之光阻很難被溶解，於是最後所遺留之圖案和光罩相反。第6圖圖示顯影後之光阻的典型影像橫截面圖。



第6圖 顯影後之光阻的典型影像橫截面圖。

3.LED製程技術

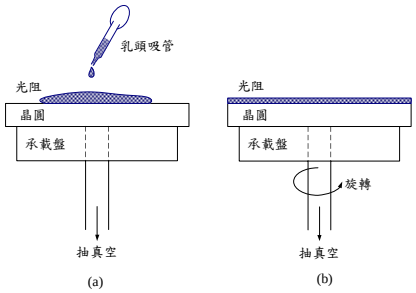
2.微影製程

❖ **製程步驟**

在發光二極體的製程當中，目前大部分都是採用光學微影製程，而光阻塗佈的方式則採用旋佈法(spin coating)，旋佈法包含下列幾項步驟：

- 參考第7(a)圖，以乳頭吸管吸取適量的光阻，將光阻滴在晶圓中央的位置上，使其覆蓋晶圓大部分的面積；
- 參考第7(b)圖，打開真空幫浦，在確定晶圓已被吸附在承載盤（chuck）上之後，使晶圓約以2000rpm之轉速旋轉約10秒，讓光阻可以覆蓋整片晶圓；
- 再使晶圓約以4000rpm之轉速旋轉約20秒，讓光阻可以很均勻地覆蓋整片晶圓；
- 關掉真空幫浦，取出晶圓。

3.LED製程技術



第7圖 旋佈法。

3.LED製程技術

(a)正光阻法

正光阻包含感光化合物和有機溶劑。在曝光前，感光化合物並不會溶解於顯影液中，在曝光後，曝光區的感光化合物吸收輻射，而改變本身的化學結構，而變得可以溶解於顯影液中。在顯影的步驟中，正光阻的曝光區會被移除。其詳細步驟如第8圖所示。

3.LED製程技術

(b)負光阻法

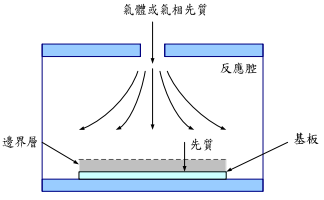
負光阻係由聚合物和感光化合物所構成。在曝光之後，感光化合物吸收光能量並將其轉換成化學能，以引起聚合物連結反應(polymer linking)，此反應使得聚合物分子交互連結(cross-link)。因此，此交互連結的聚合物分子有較大的分子量，而變得較難溶解於顯影液中。在顯影的步驟中，負光阻的未曝光區會被移除。其詳細步驟如第9圖所示。注意，負光阻的一項重要缺點為：在顯影的步驟中，負光阻會吸收顯影液而造成腫脹，因此限制負光阻的解析度。

3.LED製程技術

3.化學氣相沉積製程

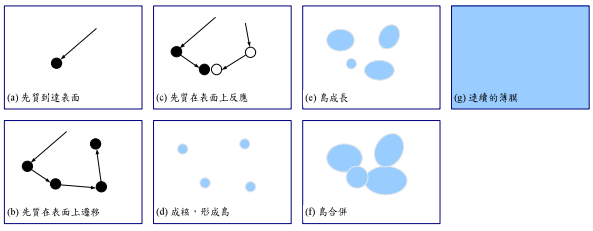
參考第10圖和第11圖，化學氣相沉積(chemical vapor deposition, CVD)係一種包含下列幾項步驟之製程：

- 將氣體或氣相先質(precursors)通入反應腔；
- 氣體或氣相先質擴散越過邊界層，然後到達基板表面；
- 先質被吸附在基板表面上；
- 在基板表面上開始發生化學反應；
- 固體生成物成核(nucleate)在基板表面上；
- 核子成長為島，再由島合併成連續的薄膜；
- 氣體生成物自基板表面解附，然後擴散越過邊界層；
- 最後將氣體生成物引出反應腔。



第10圖 說明CVD在基板表面上的化學反應。

3.LED製程技術



第11圖 薄膜形成的過程。

3.LED製程技術

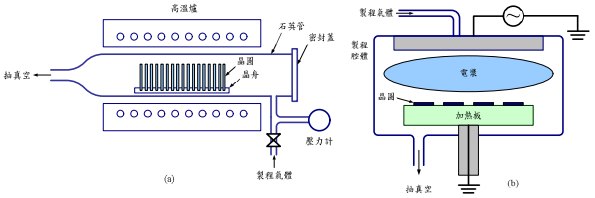
3.化學氣相沉積製程

目前有兩種常用的沉積方式沉積介電質薄膜：低壓化學氣相沉積法(low-pressure chemical vapor deposition, LPCVD)和電漿輔助式化學氣相沉積法(plasma-enhanced chemical vapor deposition, PECVD)。

LPCVD的操作壓力一般係從0.1到1Torr。其反應腔和氧化爐很類似，都具有加熱區。LPCVD反應系統需要真空系統，以控制反應腔內部的壓力。沉積過程主要係由晶圓溫度控制，而且對氣體流量相當敏感。因此，晶圓可以垂直方式載入，而且間距可以非常小。所以這種沉積方式很適合量產。第12(a)圖圖示典型的LPCVD系統。LPCVD系統通常係用以沉積氧化物，氮化物，和多晶矽。LPCVD反應腔通常操作在高於650℃的溫度下。

在PECVD的製程當中，反應氣體從輝光放電等離子場中獲得能量，激發並輔助化學反應，從而實現化學氣相沈積的技術。第12(b)圖為典型的LPCVD系統。

3.LED製程技術



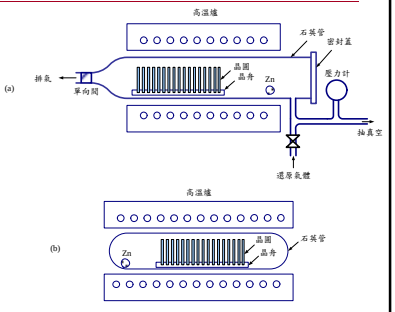
第12圖典型的(a)LPCVD和(b)PECVD系統。

3.LED製程技術

4.擴散製程

❖ **擴散摻雜**

若要在n型(或p型)磊晶片上形成一個簡單的p-n接面發光二極體結構，此時就可以使用擴散製程，將補償的雜質擴散到磊晶層中。擴散製程有兩種：(a)開放式系統；和(b)密封式系統，如第13圖所示(以擴散Zn為例)。



第13圖 擴散製程之(a)開放式系統；和(b)密封式系統。

3.LED製程技術

(a)開放式擴散技術

- 將晶圓和鋅(Zn)清洗乾淨之後放入石英管中；
- 將系統抽真空到約1×10^{-3} Torr後通入載運氣體(如氬氣)；
- 將高溫爐升溫到約500℃，使Zn熔化蒸發，並藉由載運氣體將Zn蒸氣運送到晶圓表面附近；
- 藉由高溫將Zn原子驅入晶圓，並持續進行一段期望的時間；
- 降溫，改通入惰性氣體(如氮氣)，然後取出晶圓。

(b)密封式擴散技術

- 將晶圓和鋅(Zn)清洗乾淨之後放入石英管中；
- 將系統抽真空到約1×10^{-6} Torr後，用氫氧燄將石英管密封；
- 將高溫爐升溫到約500℃，使Zn熔化蒸發，藉由高溫將Zn原子驅入晶圓，並持續進行一段期望的時間；
- 降溫，取出石英管，並緩慢地切開，然後取出晶圓。

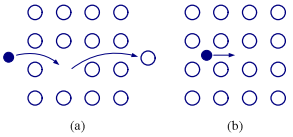
3.LED製程技術

4.擴散製程

❖ **擴散理論**

(a)擴散機制

擴散的機制有兩種：空位(vacancy)擴散和間隙(interstitial)擴散，其中圓圈代表主體原子(host atom)，藍點代表雜質原子。首先，當環境溫度升高時，主體原子因獲得熱能而離開晶格的位置，成為間隙原子，同時，在原來的位置會產生一個空位。然後，在該空位附近的雜質原子就會移入該空位，這種機制稱為空位擴散，如第14(a)圖所示。另一方面，若雜質原子沒有佔據空位而在主體原子之間移動，則稱這種機制為間隙擴散，如第14(b)圖所示。



第14圖 擴散機制：空位(vacancy)擴散和間隙(interstitial)擴散。

3.LED製程技術

(b)擴散縱曲線(diffusion profile)

考慮一維的擴散方程式：

$$\frac{\partial C}{\partial t}=D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2)$$

其中，C為每單位體積的摻雜濃度，而D為擴散係數。在典型的發光二極體擴散製程中，雜質原子係經由氣態源傳遞到磊晶片表面，然後再擴散進入磊晶層。因此，在擴散製程期間，氣態源會維持固定的表面濃度，Cs，於是擴散方程式的起始條件為：

$$C(x,t=0)=0 \quad (3)$$

而邊界值條件為：

$$C(x=0,t)=C_s \quad (4)$$

及

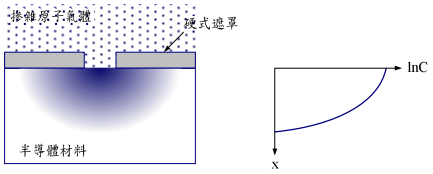
$$C(x=\infty,t)=0 \quad (5)$$

因此，擴散方程式的解為：

$$C(x,t)=C_s erfc\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (6)$$

3.LED製程技術

其中，*erfc*為互補誤差函數(complementary error function)，而為擴散長度。第15圖為根據(6)式所繪製之典型的擴散橫截面示意圖(第15(a)圖)與擴散縱曲線(第15(b)圖)。



(a) (b)

第15圖 典型的擴散橫截面示意圖與擴散縱曲線。

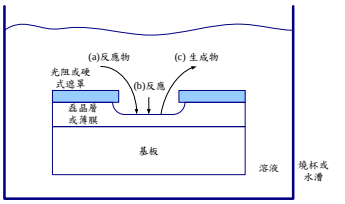
3.LED製程技術

5.蝕刻製程

蝕刻製程可分為濕式化學蝕刻和乾式電漿蝕刻。

❖ 濕式化學蝕刻

濕式化學蝕刻在各種半導體製程當中均被廣泛地使用。如第16圖所示，濕式化學蝕刻的機制包含三個主要步驟：(a)反應物經由擴散方式到達反應表面；(b)在表面發生化學反應；及(c)反應生成物以擴散方式從表面移除。



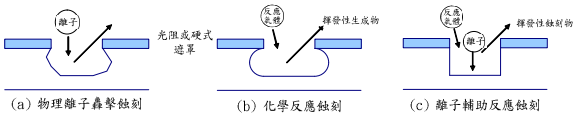
第16圖 濕式化學蝕刻的機制。

3.LED製程技術

❖ 乾式電漿蝕刻

當施加於氣體之電場的強度足夠大時，會使得氣體崩潰而游離化，這種狀態稱為電漿。因此，電漿係部分或完全游離的氣體，包含等數的正、負電荷和一些未游離的氣體分子。乾式電漿蝕刻就是一種利用電漿當作蝕刻源的蝕刻技術。

如第17圖所示，電漿蝕刻方式依反應機制可分為三種：(a)物理離子轟擊蝕刻；(b)化學反應蝕刻；及(c)離子輔助反應蝕刻。



(a) 物理離子轟擊蝕刻 (b) 化學反應蝕刻 (c) 離子輔助反應蝕刻

第17圖 電漿蝕刻方式。

3.LED製程技術

(a)物理離子轟擊蝕刻

物理離子轟擊蝕刻係利用偏壓將電漿中帶正電的離子加速的往晶片表面撞擊，經部分離子能量的轉移而將蝕刻材料擊出。擊出的蝕刻物並在低壓下被真空抽氣系統抽離。此機制係物理上的能量轉移，因此對材料沒有選擇性，而蝕刻效果則和蝕刻材料原子間的化學鍵能有相當大的關係。由於缺乏材料蝕刻選擇性，而且高速離子的轟擊會使得蝕刻處的晶格受到損傷，因此在許多蝕刻應用上很少被使用。

(b)化學反應蝕刻

化學反應蝕刻則是利用電漿中的反應氣體與蝕刻表面原子進行反應，並形成易揮發性生成物而達蝕刻效果。在此反應機制中，反應氣體的組成主要是蝕刻氣體經電漿放電解離成的自由基原子團。原子團經擴散到達蝕刻表面而進行等向性蝕刻，所形成的高揮發性生成物可由幫浦抽離；至於低揮發性生成物則會沈積在蝕刻表面，阻礙蝕刻的進行，因此，在製程中若不將低揮發性生成物移除，則蝕刻速率會愈來愈慢。

3.LED製程技術

(c)離子輔助反應蝕刻

最後一種蝕刻機制基本上是上述兩種機制的組合，即物理離子轟擊加化學反應蝕刻。此種蝕刻方式兼具非等向性和高蝕刻選擇比，目前最被廣泛地使用。在理想的離子輔助反應蝕刻機制中，當離子撞擊晶片表面造成晶片表面晶格的破壞、原子鍵的斷裂、或其他激發型態而造成表面原子的反應能增加，進而與電漿中的原子團反應形成揮發性生成物，達到蝕刻效果。或是反應氣體的自由基原子團會與晶片表面發生反應，而離子轟擊表面的再沈積物或生成物，使蝕刻表面能再與電漿氣體接觸反應。這種機制能夠產生高垂直度的蝕刻縱剖面。

3.LED製程技術

6.研磨製程

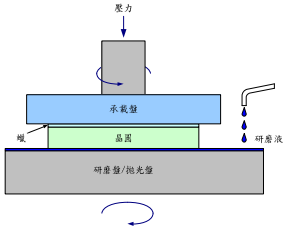
半導體基板或晶圓的厚度約為350μm或430μm，在將已製作好晶粒圖案之製程晶圓切割成晶粒之前，為了方便切割或減少元件的串聯電阻，通常要將晶圓研磨減薄到250μm(一般半導體基板)或85μm(藍寶石基板)。目前的晶圓研磨技術大致上可分為兩種：研磨法(lapping)和切削法(grinding)。

3.LED製程技術

❖ **研磨法**

如第19圖所示，其方法包含：

- ❑ 將承載盤加熱到約120℃；
- ❑ 將蠟均勻塗抹在承載盤上；
- ❑ 將晶圓正面貼上，然後施加適當壓力，使晶圓完全黏貼在承載盤上；
- ❑ 將承載盤安裝在施壓器上，同時注入適量的研磨液，而研磨液的配方通常為乙二醇(或純水)+氧化鋁粉(或碳化矽粉，或鑽石粉)；
- ❑ 使承載盤對着研磨盤(鑄鐵盤)施加壓力，同時承載盤和研磨盤分別以相反的方向轉動，直到將晶圓研磨減薄到期望的厚度；
- ❑ 將研磨盤換成質地較軟的銅盤或錫盤，將研磨面拋亮。



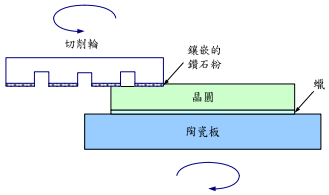
第19圖 研磨法示意圖。

3.LED製程技術

❖ **切削法**

如第20圖所示，其方法包含：

- ❑ 將陶瓷板加熱到約120℃；
- ❑ 將蠟均勻塗抹在陶瓷板上；
- ❑ 將晶圓正面貼上，然後施加適當壓力，使晶圓完全黏貼在陶瓷板上；
- ❑ 用切削輪使晶圓背面減薄，直到期望厚度為止；
- ❑ 取下陶瓷板，然後安裝在第19圖所示拋光盤上，將粗糙的背面拋亮。



第20圖 切削法示意圖。

3.LED製程技術

7.切割製程

在磊晶片完成電極製作之後，要執行晶片切割，如第21圖所示，目前切割晶粒的方式約有三種：(a)輪刀式；(b)鑽石式；和(c)雷射式。

❖ **輪刀式切割法**

將鑲嵌鑽石粉之輪刀片以高速旋轉切入晶圓，就可以將晶片分割。使用此種技術所得之晶片具有整齊的矩形。但是，鑲嵌鑽石粉之輪刀很難切割氮化鎵系發光二極體所採用的藍寶石基板。

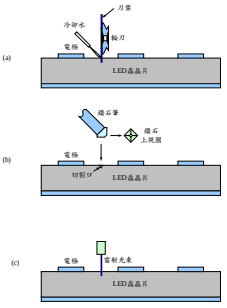
❖ **鑽石式切割法**

尖端鑲嵌特殊形狀的鑽石之工具，利用鑽石的稜線切過晶圓的正面，然後再在另一面施以適當壓力，就可以將晶片分割。此種技術早期使用於切割氮化鎵系發光二極體所採用的藍寶石基板。但是，使用此種技術所得之晶片邊緣並不整齊。

3.LED製程技術

❖ **雷射式切割法**

目前切割氮化鎵系發光二極體所採用的藍寶石基板係採用雷射式切割法，其係使用可以讓待切材料吸收之波長的聚焦雷射光束，雷射光束會在晶圓表面燒出一個小洞，若此時移動雷射光束或晶圓，就可以將洞連成線，然後再在另一面施以適當壓力，於是就可以將晶片分割。使用此種技術所得之晶片具有整齊的矩形。但是，晶片有時會被雷射灰化(aching)所產生的粉末污染。



第21圖 三種晶片切割方式：
(a)輪刀式；(b)鑽石式；和(c)雷射式。